

*ExFoS - Expert Forensic Science*  
*XXI. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství*  
*20. - 21. 1. 2012 v Brně*

**POUŽITÍ LOGICKÝCH MATIC PRO POSUZOVÁNÍ PŘÍČIN VAD A PORUCH  
VNĚJŠÍCH KONTAKTNÍCH ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ (ETICS)**

**USAGE OF LOGICAL MATRIXES FOR DETECTION OF CAUSES OF DEFECT  
AND FAILURES OF EXTERNAL CONTACT THERMAL INSULATION SYSTEMS  
(ETICS)**

**Aleš Zvěřina<sup>60</sup>**

**ABSTRAKT:**

*Vady a poruchy ETICS mohou být způsobeny celou řadou příčin. Stanovení primární příčiny vady nebo poruchy může být u složitějších staveb velice obtížné, zvláště pokud dochází k interakcím mezi účastníky stavebního procesu (projektant, zhotovitel stavby, investor, technický dozor investora, stavební úřad), použitými materiály, částmi dokumentace, klimatickými podmínkami apod. Jako výhodné se může jevit použití prvků systémového přístupu soudního inženýrství k této problematice, konkrétně logických matic jako je např. matice hypotéz nebo matice stop. Cílem článku je ukázat aplikaci logických matic na případu zřícení ETICS. Z výsledků testování jednotlivých hypotéz bude nalezena primární příčina zřícení. Část je také věnována možnému počítačovému zpracování logických matic.*

**ABSTRACT:**

*Defects and failures of ETICS can occur due to many causes. Determination of primary cause of defects or failures can be very difficult, mainly if the building is complicated. There can be many interactions between participants of building process (architect, builder, investor, technical supervisor of investor), used materials, parts of documentation, climatic conditions and the like. The usage of elements of systemic entry of forensic engineering, specifically logical matrixes, for example matrix of hypothesis or matrix of signs can be very advantageous. The goal of the article is to show a usage of logical matrixes on real application of ETICS crash. The primary cause determination will be found from testing results. The part of article discusses possible computer processing of logical matrixes.*

**KLÍČOVÁ SLOVA:**

*Logická matice, matice hypotéz, matice stop, vnější kontaktní zateplovací systém, ETICS, interakce.*

**KEYWORDS:**

*Logical matrix, matrix of hypothesis, matrix of signs, external thermal contact insulation system, ETICS.*

## **1 Úvod**

Ve výjimečných případech může být určení vady nebo poruchy stavební konstrukce jednoduché a přímočaré, zvláště v případech, kdy existuje pouze omezená množina příčin a jejich důsledků. Tento jev je ale v praxi výjimkou, častěji se setkáváme se stavem, kdy důsledek může mít na první pohled mnoho příčin, přičemž se na vzniku příčiny může podílet celá řada faktorů, často i v různých kombinacích a poměrech zavinění. Je užitečné považovat znalecký případ za systém, který lze rozložit na jednotlivé prvky, kterými mohou být další

---

<sup>60</sup> Aleš Zvěřina, Ing. Bc., VUT v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno, [ales.zverina@usi.vutbr.cz](mailto:ales.zverina@usi.vutbr.cz)

subsystémy, pro náš případ vnějších kontaktních zateplovacích systémů např. projektová dokumentace, samotný ETICS, jenž lze dále rozdělit na jednotlivé komponenty, stavební deník, klimatické podmínky apod. Tyto jednotlivé prvky mohou být ve vzájemných interakcích, např. předepsaná kotevní hmoždinka v projektové dokumentaci a únosnost podkladu nebo únosnost podkladu a klimatické podmínky v momentě zřízení části nebo celého ETICS. Uvedených možných interakcí mezi jednotlivými prvky systému může být velice mnoho a každá interakce vytváří hypotézu možné příčiny. Pokud budeme dále dělit jednotlivé subsystémy tak, že např. z ETICS vybereme pouze kotevní hmoždinky a z podkladu pro ETICS předvrtané otvory, není ani v tomto případě jednoduché rozhodnout, zda platí hypotéza, že byla použita nevhodná hmoždinka nebo, že materiál podkladu nebyl dostatečně únosný, jinými slovy vznikají minimálně dvě hypotézy, které je nutné dále testovat.

Odhalit primární příčinu vady nebo poruchy na základě i několika desítek hypotéz není snadné. Za jednu z největších chyb je nutno považovat, když je předem stanovena jediná verze a znalec se snaží za každou cenu tuto verzi dokázat [1].

Cílem článku je ukázat jak postupovat v případech, kdy dojde ke ztrátě mechanické odolnosti a stability ETICS, přičemž o příčině zřízení existuje několik hypotéz. Pro posouzení je použit systémový analytický přístup pomocí logických matic. V článku tedy provádím aplikaci logických matic výhradně na případ zřízení části nebo celého ETICS ačkoliv logické matice lze zcela jistě použít i na vady a poruchy související s tepelnou technikou ETICS. S tematikou logických matic jsem se setkal při zpracování expertizního posudku o zřízení ETICS, kdy jsem hledal způsob jak pokud možno s vyloučením subjektivního náhledu dostatečně kvalitně posoudit co bylo primární příčinou zřízení zateplovacího systému. Bohužel najít jakýkoliv text o použití této metody hodnocení je jako hledat pověstnou jehlu v kupce sena.

## **2 logické matice v soudním inženýrství**

### **2.1 Matice hypotéz**

Jedná se o strukturu podobající se matici známé z lineární algebry, tak jak je definována např. v [2]. Obsahuje prvky s indexem označující řádky a sloupce. Avšak v našem případě nejde o abstraktní strukturu. Prvky matice vyjadřují pravděpodobnost platnosti hypotézy, která je dána interakcí mezi možnou příčinou a pramenem nebo ověřováním jednotlivé hypotézy.

Jednotlivé prvky matice jsou potom zapisovány ve tvaru ++, kdy je hypotéza potvrzena, + v případě, že je hypotéza pravděpodobná, -, kdy je hypotéza nepravděpodobná a konečně – pro případ vyloučené hypotézy. Jinými slovy, pohybujeme se v hodnotách 0, 25, 50, 100 % pravděpodobnosti, že je daná hypotéza pravdivá. Ve složitějších případech doporučuji provést zápis formou většího rozsahu pravděpodobnosti s číselným zápisem. Prvek matice v tomto případě označuje přímo pravděpodobnost, že daná příčina v závislosti na prameni nebo ověřování nastala. Pokud tedy označíme možné příčiny  $x$ , prameny ověřování  $y$  a hodnotu pravděpodobnosti pravdivosti hypotézy  $P$ , můžeme obecnou podobu matice hypotéz zapsat ve tvaru:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccc}
 \mathfrak{X} & & & & \emptyset \\
 \mathfrak{C} & & & & \div \\
 & x_1 & x_2 & x_i & \\
 \mathfrak{C} & y_1 & P_{1,1} & P_{2,1} & P_{i,1} \div \\
 \mathfrak{C} & & & & \div \\
 \mathfrak{C} & y_2 & P_{1,2} & P_{2,2} & P_{i,2} \div \\
 \mathfrak{C} & & & & \div \\
 \mathfrak{C} & y_j & P_{1,j} & P_{2,j} & P_{i,j} \div \\
 \mathfrak{C} & & & & \emptyset
 \end{array}
 \end{array}
 \quad (1)$$

V praxi se samozřejmě nepoužívá matematický zápis, ale mnohem vhodnější zápis ve formě přehledné tabulky, jak ukazují v kapitole o praktické aplikaci matic.

Zajímavé je také sledovat jakým způsobem můžeme určit pravděpodobnost platnosti hypotézy. Například ověření hypotézy, že interakce mezi kotevní hmoždinkou a předvrtaným otvorem způsobila zřícení ETICS může dále vést k řešení speciálního typu matice (tzv. matice stop) na místě průsečíku interakce (hodnota P). V našem případě by mohlo být například zjištěno, že otvory v panelu domu, do kterých bylo provedeno kotvení jsou čisté a bez jakéhokoliv opotřebení nebo naopak, v otvorech jsou zbytky kotvicích hmoždinek apod. Řešením další pomocné matice tedy můžeme získat správnou hodnotu P s poměrně velkou jistotou. Ideální případ nastává, když určení velikosti pravděpodobnosti závisí na porovnání dvou hodnot, to je typický případ srovnání počtu kotev na stavbě s navrženým počtem kotev ve statickém posouzení (nicméně i zde mohou nastat komplikace jak si ukážeme dále). V těchto případech je hodnota P buď 1 nebo 0. Naopak nejsložitěji se vyjadřuje pravděpodobnost platnosti hypotézy např. v případech, kdy mezi sebou porovnáváme počet kotev a technologický pokyn výrobce, který bývá pouze orientační.

## 2.2 Matice stop

Matice stop je speciálním případem matice odrazu, která vyjadřuje interakce mezi jednotlivými prvky systému, kdy jeden prvek působí na druhý a naopak, přičemž dochází ke změnám na obou prvcích. Z této interakce lze určit druh působení a intenzitu působení. V obecné podobě je definována matice odrazu takto:.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} \mathfrak{A} \\ \mathfrak{C} \\ \mathfrak{C} \\ \mathfrak{C} \\ \mathfrak{C} \\ \mathfrak{C} \\ \mathfrak{C} \end{array}
 \begin{array}{ccccc}
 & 1 & 2 & j & n \\
 1 & (a_{11}, b_{11}, c_{11}, \dots & a_{12}, b_{12}, c_{12}, \dots & a_{1j}, b_{1j}, c_{1j}, \dots & a_{1n}, b_{1n}, c_{1n}, \dots \\
 2 & a_{21}, b_{21}, c_{21}, \dots & a_{22}, b_{22}, c_{22}, \dots & a_{2j}, b_{2j}, c_{2j}, \dots & a_{2n}, b_{2n}, c_{2n}, \dots \\
 i & a_{i1}, b_{i1}, c_{i1}, \dots & a_{i2}, b_{i2}, c_{i2}, \dots & a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, \dots & a_{in}, b_{in}, c_{in}, \dots \\
 n & a_{n1}, b_{n1}, c_{n1}, \dots & a_{n2}, b_{n2}, c_{n2}, \dots & a_{nj}, b_{nj}, c_{nj}, \dots & a_{nn}, b_{nn}, c_{nn}, \dots
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 0 \\ \div \\ \div \\ \div \\ \div \\ \div \\ \div \\ \div \\ \emptyset
 \end{array}
 \end{array} \quad (2)$$

Pro systém o n-prvcích, kdy prvek i zanechá na prvku j stopy  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ ,  $c_{ij}$  ... atd. Matice stop tedy vyjadřuje vzájemné působení dvou prvků ve formě zanechaných stop (jak napovídá samotný název matice). Pro každou stopu musí nakonec ze zjištěného průběhu děje existovat vysvětlení jejího vzniku, které nesmí být v rozporu s jinými objektivními skutečnostmi [1]. V našem konkrétním případě ETICS se může jednat o stopy poškození kotevních hmoždinek, které zároveň nechávají specifické stopy v předvrtaném otvoru, nebo v deskách izolantu.

Dalším typem matice stop by mohla být „jednosměrná“ matice vnějších vlivů, kdy na sebe nepůsobí dva prvky, ale na jeden sledovaný prvek působí vnější podmínky. V našem již zmíněném případě kotevní hmoždinky bychom mohli sledovat stopy na hmoždince způsobené např. podceněním zatížení od sání větru, nebo extrémními klimatickými podmínkami, se kterými nemohlo být počítáno ve výpočtu zatížení.

## 3 Vady a poruchy etics související se ztrátou mechanické odolnosti a stability

K porušení mechanické odolnosti a stability nedochází jen tak samo od sebe, vždy je dáno poruchami mechanického kotvení nebo vadami lepeného spoje mezi deskami izolantu a podkladem (popř. obojího). Proto považuji za nutné zmínit alespoň hlavní zásady, podle kterých probíhá mechanické kotvení a příčiny, které mohou způsobovat vady a poruchy. Není

smyslem tohoto článku vysvětlovat principy kotvení a návrhu počtu mechanických kotev na zatížení větrem, od toho bude mít znalec jistě svého specialistu<sup>61</sup>.

### **3.1 Výchozí dokumenty pro návrh počtu kotevních hmoždinek**

Při návrhu mechanického kotvení ETICS se vychází ze základního předpokladu, že kotevní hmoždinky přenášejí 100 % účinku sání větru. Jinými slovy, mechanické kotvy nepřenášejí ostatní zatížení. Výpočet velikosti zatížení větrem je tedy zcela zásadní a pro návrh kotvení ETICS jednoznačně určující.

Do března 2010 se pro výpočet zatížení větrem používala ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí, která vycházela ze základního tlaku větru, od kterého se odvíjela celá metodika výpočtu. Od března 2010 je nutné počítat zatížení větrem podle ČSN EN 1991-1-1 Zatížení větrem. Tato evropská norma (neboli tzv. Eurokód), která byla implementována do soustavy českých norem uvádí odlišnou metodiku výpočtu, při které se vychází z rychlosti větru. Tato odlišnost způsobuje poněkud jiné výsledky výpočtu zatížení větrem (někdy i podstatně odlišné), které by byly při použití "staré normy" vyhovující jak je ukázáno např. ve [3].

V praxi se tak lze setkat s návrhy kotvení, které vedou k výraznému poddimenzování kotvení ETICS aniž by to bylo v rozporu s ČSN 73 0035. Je zcela jasné, že výpočet podle metodiky "staré normy" musel být správný stejně jako výpočet podle "nové normy", i když se dostáváme k odlišným výsledkům. Tato schizofrenní situace může v soudní praxi vést k napadnutí znaleckého posudku, který bude hodnotit příčiny havárie ETICS a jako jednu z příčin havárie označí nedostatečný počet mechanických kotev, vycházející z metodiky podle ČSN 1991-1-1, protože podle ČSN 73 0035 bude vycházet počet kotev dostačující. Nemluvě o tom, že v takové situaci je určení míry vlivu této příčiny na havárii ETICS téměř nemožné. Doporučuji tedy postupovat velice uvážene a nejprve si raději zkontrolovat datum vypracování projektové dokumentace, podle které se ETICS prováděl. V případě, že se ETICS prováděl bez projektové dokumentace bude nutné přihlídnout k datu havárie nebo lépe k datu, kdy bylo mechanické kotvení ETICS prováděné (pokud existuje stavební deník). Také je dobré upozornit, že pokud bude chtít znalec porovnávat skutečný počet kotev s počtem daným firemními materiály výrobců ETICS musí si uvědomit, že ve většině případů se jedná pouze o doporučení výrobce, vycházející pravděpodobně z ČSN 73 0035. Jednotliví producenti systémů ETICS, jejichž komponenty podléhají certifikaci podle ETAG 004 a ETAG 014<sup>62</sup>, se přitom liší i při základních stanovení počtů kotev na m<sup>2</sup>, ve stanovení velmi důležitého parametru okrajové oblasti v nárožích pro zvýšené hodnoty počtů kotev a v neposlední řadě i v udávaných výškových pásmech [3].

Projektanti, kteří výpočet kotvení ve svých projektech uvádí se často řídí metodikou Čechu pro zateplování budov (dále jen CZB), který ve své podstatě upravuje metodiku použití ETICS rozdělených podle ETAG 004 na systémy lepené, lepené s doplňkovými hmoždinkami a mechanicky připevňované systémy s doplňkovou lepicí hmotou podle vlastností podkladu, výšky objektu a zatížení sáním větru. Pro více informací o této metodice viz [3].

### **3.2 Přehled možných příčin ztráty mechanické odolnosti a stability ETICS pro matici hypotéz**

#### **3.2.1 Vady a poruchy lepeného spoje**

Stejně jako nesprávné mechanické kotvení ETICS může být příčinou havárie ETICS i špatně provedené lepení izolantu ETICS na podkladní materiál. Ve smyslu ČSN 01 0113 Jakost

---

<sup>61</sup> Nejlépe autorizovaného inženýra pro obor statiky a dynamiky staveb.

<sup>62</sup> Jedná se obecně o řídicí předpisy evropského technického schvalování

výrobků může být výsledkem pouze vada ETICS v horším případě porucha (nebo obráceně), která vede k odtržení ETICS od podkladu. Norma ČSN 73 2901 Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS) z dubna 2005 požaduje v článku 6.4, aby u systémů s tepelnou izolací z expandovaného polystyrenu (EPS) byl rub desky spojen s podkladem na minimálně 40 % plochy desky a v případě použití tepelné izolace z minerální vlny (MW) na celém povrchu desky. Platí to pro systémy spojované s podkladem pouze lepením. Tato norma není ale závazná a lze ji tedy brát pouze jako doporučení. Pokud tedy selže mechanické kotvení hmoždinkami přenáší účinky zatížení lepicí hmota a je na znalci, aby určil, jestli i při selhání mechanického kotvení byl lepený spoj proveden natolik dobře, že mohl odolávat účinkům zatížení i bez mechanického kotvení. Dále je třeba zkoumat, jestli použitá lepicí hmota je skutečně certifikovaná pro daný ETICS. Pokud tomu tak není, je možné, že i dobře provedený spoj nebude schopen přenášet účinky zatížení větru. Poznat však, jestli bylo na stavbě použito skutečně certifikované lepidlo, je velice složité, protože ETICS bývá vykazován v dodacích listech a jiných dokumentech jako kompaktní výrobek bez označení složek (v zásadě naprosto stejně jako kdyby jste si kupovali v obchodě televizi). V těchto případech nezbyvá nic jiného, než si vyžádat přímo od výrobce ETICS vydání konkrétních dodacích listů souvisejících s prováděním posuzovaného ETICS, kde většinou bývají uvedeny jednotlivé složky systému. Dobré je také vyjít ze svědeckých výpovědí lidí, kteří se na stavbě nacházeli a pamatují si názvy výrobků na obalech od použitých materiálů.

### **3.2.2 Extrémní klimatické podmínky**

Jednou z možných příčin, která může způsobit havárii ETICS, mohou být extrémní klimatické podmínky, konkrétně větší rychlost větru, než je rychlost větru uvedená v národní příloze normy ČSN EN 1991-1-4 pro jednotlivé větrové oblasti. Ačkoliv se nejedná o častou příčinu havárií ETICS, není radno ji zanedbat. Technicky vzato, pokud bude skutečná hodnota rychlosti větru jen o 1 m/s vyšší než rychlost větru z normy, použitá jako vstupní hodnota k výpočtům zatížení větrem, je třeba o takové příčině uvažovat jako o možné hlavní příčině. Ačkoliv největší část výstavby panelovými domy lze očekávat ve větrových oblastech I až III, jsou i oblasti jako např. Tanvald, Hlinsko na Vysočině popř. Jeseník na severní Moravě, které jsou zařazeny do IV. větrové oblasti, kde se mohou objevit např. orkány, vichřice apod. Rychlost větru v dané lokalitě lze zjistit od Českého hydrometeorologického ústavu.

### **3.2.3 Vady projektové dokumentace**

Zaměříme se pouze na vady projektové dokumentace, které mohou být příčinou ztráty mechanické odolnosti a stability ETICS. Požadavky na obsah a rozsah projektové dokumentace jsou dány vyhláškou č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb. Obsahem části B dokumentace (souhrnná technická zpráva) je v bodě 2 uveden požadavek na průkaz statickým výpočtem, který prokáže, že stavba je navržena tak, aby zatížení na ni působící v průběhu výstavby a užívání nemělo za následek zřícení stavby nebo její části, větší stupeň nepřijatelného přetvoření, poškození jiných částí stavby nebo technických zařízení anebo instalovaného vybavení v důsledku většího přetvoření nosné konstrukce, poškození v případě, kdy je rozsah neúměrný příčině. Dále je obdobný požadavek uveden v části F (dokumentace stavby), konkrétně F 1.2 (stavebně konstrukční část), kde by měly být definované hodnoty zatížení a popsány materiály a konstrukční prvky. Podle mého názoru by měl být součástí této části dokumentace kromě jiného tzv. kotevní plán, který určuje počet a typ kotvicích prvků v počtech kusů na m<sup>2</sup> v různých částech zateplované fasády, stanovený na základě statického výpočtu. Bohužel, díky požadavkům zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách, kdy technické podmínky uvedené v projektové dokumentaci nesmí být stanoveny tak, aby určitým dodavatelům zaručovaly konkurenční výhodu nebo vytvářely neodůvodněné překážky

hospodářské soutěže, tento dokument chybí s poukazem na pravdivou skutečnost, že konkrétní značka ETICS a tím pádem i jednotlivé součásti ETICS budou určeny až po výsledku výběrového řízení tedy v momentě, kdy je projektová dokumentace hotova a odevzdána a dokonce je na ní vydáno platné stavební povolení. Je třeba si uvědomit, že kotvící hmoždinky ETICS značky A mají většinou jinou únosnost než hmoždinky ETICS značky B.

V ČSN 73 2901 Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS) z dubna 2005 v článku 7.1 je předepsáno, že „druh hmoždinek, jejich počet, poloha vůči výztuži a rozmístění v ploše desek tepelné izolace a v místě jejich styků je určen ve stavební dokumentaci“. O přesně jakou stavební dokumentaci jde ale není upřesněno, nehledě na to, že tato norma není závazná. Otázka tedy zní, jestli neexistence kotevního plánu v projektové dokumentaci ke stavebnímu řízení může být posuzována jako jedna z možných příčin havárie ETICS zejména v případech, kdy je projektová dokumentace zpracována nejen pro účely stavebního povolení, ale explicitně i pro účely výběrového řízení, které proběhlo v rámci zákona č. 137/2006 Sb.

#### **3.2.4 Nevhodný výběr a počet kotevních hmoždinek, nesprávně určený podkladový materiál**

V rámci projektové přípravy, popř. stavební přípravy je potřeba zjistit, jestli je daná hmoždinka určena do podkladu, na který se má ETICS kotvit a jestli podklad bude schopný přenášet zatížení vyvolané účinkem sání větru přes hmoždinku. Podklady jsou rozděleny do celkem pěti skupin: A - beton, B - plně zdící prvky, C - děrované popř. komůrkové materiály, D - lehčené kamenivo, E - pórobeton. Dále je nutné provést výtažné zkoušky pokud kotvící délka (min. základní tloušťka materiálu) je do 100 mm. A zde je jádro problému. Ačkoliv existuje velké množství literatury, které popisuje konstrukční soustavy panelových domů je třeba si uvědomit, že existují různé krajové varianty konstrukčních soustav, leckdy z jiných typů panelů než původně betonových (keramzit, vyzdívaný plynosilikát) a navíc, tloušťka moniérky (vnější vrstva sendvičového panelu) bývá v rozmezí 50-70 mm. Únosnost materiálů již ale stejně není taková, jaká byla v době vzniku stavby. Za těchto podmínek nemusí ani sebelepší mechanické kotvení ETICS přenášet účinky zatížení větru.

Právě z těchto důvodů je vždy nutné zejména u panelových domů provést výtažnou zkoušku a ověřit únosnost a vhodnost podkladu pro kotvení. Otázkou zůstává kdo má vlastně výtažnou zkoušku provést, jestli projektant ve fázi projektové přípravy, nebo zhotovitel ve fázi přípravy stavby. Projektant se může vymlouvat na to, že z předaných podkladů vyplývalo kotvení na materiál daný podkladem od objednavatele projektu, zhotovitel může tvrdit, že způsob kotvení byl dán projektem. Kdo měl výtažné zkoušky provést není jasně dáno žádným předpisem. Můžeme se tedy spokojit s konstatováním, že by měla existovat výtažná zkouška. Její neexistence může být označena za možnou příčinu havárie ETICS.

To, jestli za havárii ETICS může kotevní hmoždinka nebo podklad je dáno stopami na obou prvcích. To je právě ta situace, kdy se může uplatnit matice stop. Pokud je předvrtaný otvor prázdný bez zbytků hmoždinky uvnitř, ukazuje to nejspíše na to, že byl špatně určen podklad pro kotvení (a tedy i hmoždinka byla zvolena špatně). Naopak, pokud bude v otvoru zbytek pouzdra hmoždinky nebo celé pouzdro i s kusem hmoždinky je přirozené považovat za příčinu malý počet kotev. Z vlastní praxe upozorňuji na skutečnost, že realita není až tak černobílá. Obvykle je určitý počet otvorů bez pouzdra hmoždinky a určitý počet otvorů obsahuje části pouzdra hmoždinky popř. pouzdro celé. Statistické rozdělení tohoto náhodného jevu mi není známo a pokud vím tak ani nebylo zkoumáno. Přijmeme tedy zjednodušující předpoklad, který bude spočívat v převažujícím počtu zkoumaného jevu.

## 4 praktická aplikace matice hypotéz

V následujícím textu ukáži praktickou aplikaci matice hypotéz pro případ zřícení ETICS.

### 4.1 Sestavení matice hypotéz

Uvedme si nejčastější možné příčiny havárie ETICS:

- Nevyhovující počet kotev na 1 m<sup>2</sup>
- Neodborně provedené kotvení
- Použitá lepicí hmota v rozporu s technologickými předpisy výrobce
- Extrémní klimatické podmínky
- Špatně určený podklad pro kotvení
- Špatné posouzení podkladu pro lepení
- Provádění kotvení za nevhodných klimatických podmínek (děšť, mráz apod.)

Uvedené příčiny je nutné považovat jako nejčastěji možné. Pokud bychom chtěli být opravdu důslední bylo by nutné uvést jako další hypotézu např. únavu materiálu hmoždinek, špatnou výrobní šarži, kdy deklarované hodnoty možného zatížení neodpovídali skutečným hodnotám apod. Tyto hypotézy jsou ale poměrně nepravděpodobné i když ne vyloučené.

Prameny zjišťování rozdělme z důvodů přehlednosti do tří skupin:

- Analýza technických příčin
- Analýza vztahu závad k předpisům
- Analýza vztahů účastníků k závadám

Mezi analýzu technických příčin zařazujeme nejčastěji různá měření a porovnávání, tj. např. již zmíněné výtažné zkoušky, statické posudky, dodací listy, odbornou literaturu, fotodokumentaci, stavební deníky atd.

Mezi analýzu vztahu závad k předpisům patří zejména obecně závazné předpisy, v našem případě vyhláška č. 268/2009 Sb., o obecných požadavcích na stavby, ČSN 73 2901, ČSN EN 1991-1-4, technologické předpisy výrobce ETICS, pokud bychom chtěli být důslední tak i ČSN 73 0035.

Poslední skupinu tvoří analýza vztahů účastníků k závadám. Do této skupiny zahrnujeme proces stavebního řízení, kolaudační řízení, projektová dokumentace, autorský dozor, technický dozor investora, prováděcí dokumentace (zde zkoumáme zejména odchylky od dokumentace ke stavebnímu povolení), předávací řízení.

Možné příčiny budou uvedeny v řádku matice, prameny zkoumání ve sloupci, na jednotlivé průřezy budeme zapisovat pravděpodobnosti platnosti hypotéz. V některých případech bude nutné uvádět odhad pravděpodobnosti hypotézy, v jiných nám pomůže např. matice stop.

**Tabulka č. 1 – Matice hypotéz .**

**Table No. 1 – The Matrix of hypotheses.**

Fáze práce znalce	ZJIŠTĚNÍ – HYPOTÉZA	Nevyhovující počet kotev na m <sup>2</sup>	Neodborně provedené kotvení	Lepicí hmota	Extrémní klimatické podmínky	Podklad –mechanické kotvení	Podklad - lepení	Nevhodné klimatické podmínky	Provedení lepeného spoje
Analýza	Vnější prohlídka	0,4	0,1	0,1	0,7	0,71	0,2	0,0	0,3

**ExFoS - Expert Forensic Science**  
**XXI. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství**  
**20. - 21. 1. 2012 v Brně**

Fáze práce znalce	ZJIŠTĚNÍ – HYPOTÉZA	Nevyhovující počet kotev na m <sup>2</sup>	Neodborně provedené kotvení	Lepicí hmota	Extrémní klimatické podmínky	Podklad –mechanické kotvení	Podklad - lepení	Nevhodné klimatické podmínky	Provedení lepeného spoje
technických příčin	Výtažné zkoušky	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0
	Fotodokumentace	0,3	0,2	0,1	0,6	0,3	0,0	0,0	0,1
	Statický posudek	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Přípis hydrometeorologi ckého ústavu	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,5	0,0
	Dodací listy dodavatele ETICS	0,8	0,0	1,0	0,0	0,29	0,0	0,0	0,0
	Odborná literatura	0,8	0,2	0,1	0,1	0,6	0,1	0,1	0,0
Analýza vztahu závad k předpisům	Vyhl. č. 268/2009 Sb.	0,7	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ČSN 73 2901	0,6	0,0	0,8	0,0	0,8	0,2	0,3	0,2
	ČSN EN 1991-1-4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Technologické předpisy dodavatele ETICS	0,8	0,2	0,8	0,0	0,8	0,1	0,6	0,2
Analýza vztahů účastníků k závadám	Stavení řízení, stavební povolení	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
	Kolaudační řízení, kolaudační rozhodnutí	0,8	0,2	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0
	Projektová dokumentace ke stavebnímu řízení	0,0	0,3	0,0	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0
	Autorský dozor projektanta	0,9	0,2	0,8	0,0	0,6	0,1	0,3	0,1
	Technický dozor investora	0,9	0,2	0,9	0,0	0,8	0,0	0,8	0,2
	Prováděcí projektová dokumentace	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0



Fáze práce znalce	ZJIŠTĚNÍ – HYPOTÉZA	Nevyhovující počet kotev na m <sup>2</sup>	Neodborně provedené kotvení	Lepicí hmota	Extrémní klimatické podmínky	Podklad –mechanické kotvení	Podklad - lepení	Nevhodné klimatické podmínky	Provedení lepeného spoje
	Předávací řízení	0,9	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0

#### 4.2 Analýza matice hypotéz

Po sestavení matice hypotéz pro náš konkrétní případ zjistíme průměrné pravděpodobnosti jednotlivých příčin:

**Tabulka č. 2 Průměrné pravděpodobnosti příčin .**

**Table No. 2 – The Average propability of causes.**

Příčina	Průměrná pravděpodobnost
Nevyhovující počet kotev na m <sup>2</sup>	0,76
Neodborně provedené kotvení	0,2
Lepicí hmota	0,51
Extrémní klimatické podmínky	0,52
Podklad – mechanické kotvení	0,59
Podklad - lepení	0,14
Nevhodné klimatické podmínky	0,43
Provedení lepeného spoje	0,18

Pravděpodobně nejsilnější příčinou, která se podílela na zřícení ETICS je nevyhovující počet kotev na m<sup>2</sup>. Tuto příčinu můžeme označit jako primární. Za další příčiny lze označit špatné určení podkladu ke kotvení (a tím pádem i jiného typu hmoždinek) a dále extrémní klimatické podmínky, což je poměrně výjimečná příčina. Jak je vidět, svou úlohu do jisté míry sehrála i lepicí hmota, která nebyla v souladu s technologickými předpisy výrobce ETICS (dokonce byla od jiného výrobce).

Ačkoliv v článku není možné probrat veškeré interakce, chtěl bych poukázat na některé zajímavé. V první řadě se bude jednat o hypotézu extrémních klimatických podmínek. Co lze považovat za extrémní klimatické podmínky? Jednoduše takové, které jsou v rozporu nebo se velice přibližují hraničním hodnotám základní rychlosti větru, danou mapou větrových oblastí ČR, která tvoří přílohu k vydání ČSN EN 1991-1-4. Region, kde došlo k havárii je zaříděn do oblasti III se základní rychlostí větru 27,5 m.s<sup>-1</sup>. Podle přípisu hydrometeorologického ústavu se ve dnech kotvení izolantu ETICS (zjištěno podle stavebního deníku a výpovědí) vyskytovaly ojediněle rychlosti dosahující až 26,8 m.s<sup>-1</sup>. Ačkoliv tato rychlost nepřesáhla rychlost mezní, je nutné ji uvažovat v tom smyslu, že i v případě nižšího počtu a jiného typu kotev by kotvy pravděpodobně zatížení přenesly. Což doložil i statický výpočet vypracovaný speciálně pro tento případ.

Dalším zajímavým jevem je poměrně vysoká pravděpodobnost platnosti hypotézy, že nebyl správně určen podklad pro kotvení. Což bylo nakonec prokázáno pomocí výtažných zkoušek a sondy. Ačkoliv původní dokumentace deklarovala obvodový plášť z betonových panelů, na stavbě byly použity pórobetonové vyzdívky přičemž tato změna nebyla nikde doložena a tak

autor projektové dokumentace navrhl kotvy do betonového podkladu. Pokud by byla provedena výtažná zkouška před započítáním stavby, únosnost podkladu by ukazovala na pórobeton a mohly být použity správné hmoždinky. Jinými slovy, je vysoce pravděpodobné, že poddimenzování mechanického kotvení by nemuselo vést ke zřícení, pokud by byl správně určen podklad a tím pádem i správný typ kotvicích hmoždinek. Co ukazovalo na špatné určení podkladu ke kotvení? Po prohlídce téměř všech otvorů ke kotvení bylo zjištěno, že 71 % otvorů neobsahuje pouzdro hmoždinky a po aplikaci matice stop v té nejjednodušší formě vedl výsledek ke zjištění, že ve většině případů nebyl podklad únosný. Což bylo potvrzeno i destrukční sondou v obvodovém plášti. Zbýlých 29 % připadá na nehomogenitu konstrukce a určitý počet otvorů, které byly vyvrtány do železobetonového skeletu.

Při zjišťování jednotlivých komponent samotného ETICS bylo zjištěno, že zhotovitel díla nepoužil certifikovanou lepicí hmotu, určenou pro daný ETICS, ale lepidlo jiného výrobce, které měl na skladě. Tento rozpor byl zjištěn na základě dodacích listů od dodavatele ETICS, kde nebylo lepidlo vykázáno. Naopak z výsledků stavbyvedoucího vyšlo najevo, že bylo použito lepidlo jiné. Pokud by nebyly prozkoumány dodací listy dodavatele ETICS tak by se pravděpodobně na tuto skutečnost nepřišlo.

Ostatní příčiny se jistě svým způsobem mohly na zřícení ETICS podílet, ale pouze okrajově. Ze stavebního deníku např. vyplynulo, že se lepení izolantu provádělo od října do prosince, mnohdy i v dešti nebo při teplotách pod 5°C, tedy za nevhodných klimatických podmínek.

Matice hypotéz nám tedy dala odpověď na otázku co bylo hlavní příčinou zřícení ETICS. V našem případě to byl menší počet kotevních hmoždinek než uváděla projektová dokumentace, což se např. zjistilo i z dodacích listů dodavatele ETICS, kde byl uveden počet kotev dodaných na stavbu. Matice hypotéz nám dala i odpověď jaké byly další příčiny a dokonce nám pomohla kvantifikovat podíl těchto příčin na zřícení ETICS.

Ačkoliv není hlavním důvodem matice hypotéz ukázat na viníka nehody, matice hypotéz nám může dát určitý obrázek o podílu jednotlivých účastníků. Kromě zhotovitele, který jednoznačně na základě vlastního uvážení poddimenzoval mechanické kotvení je nutné ukázat i na autorský dozor stavby a technický dozor investora, který mohl zabránit použití menšího počtu kotev než uváděla projektová dokumentace. Také tyto dvě osoby mohli navrhnout provedení výtažné zkoušky. Naopak se ukazuje, že role stavebního úřadu v tomto případě není téměř žádná alespoň co se týče vydání stavebního povolení, což ale vyplývá z logiky věci. Naopak při kontrolních prohlídkách stavby může úředník stavebního úřadu ukázat na rozpory mezi dokumentací a realitou, to se ale nestalo.

## **5 Počítačové zpracování matice hypotéz**

Jako příklad použití matice hypotéz jsem záměrně zvolil případ zřícení ETICS. Jednak protože s posuzováním příčiny zřícení mám vlastní zkušenost a také proto, že posuzování vad a poruch ETICS je náplní mé disertace. Obecně lze považovat zateplovací systém za poměrně jednoduchou stavební konstrukci. Matici hypotéz lze uplatnit i v případech zkoumání příčin vad a poruch jiných stavebních konstrukcí a to mnohem složitějších, např. mostových konstrukcí, dopravních staveb, základových konstrukcí apod. V těchto případech by byla matice hypotéz mnohem složitější. Nabízí se tedy přímo možnost počítačového zpracování. Nemám na mysli vytvoření tabulky v programu MS Excel, ale plnohodnotný software založený buď na databázi SQL, CoreData nebo na značkovacím jazyku XML.

V takto pojatém software by znalec pouze vybral šablonu, podle které by posuzování prováděl. Šablona by už obsahovala seznam možných příčin pro různé případy a seznam pramenů ověřování s tím, že by si je mohl znalec doplnit podle vlastního uvážení. Například by existovala šablona pro posouzení zřícení mostní konstrukce nebo pro posouzení tepelně technických vad ETICS. Po kliknutí na políčko zadávání pravděpodobnosti hypotézy by se otevřelo další okno, kde by znalec mohl zadat rovnou pravděpodobnost s popisem,

dokumentujícím jak se k dané hodnotě došlo nebo by okno vedlo na další s možností využít např. matici stop apod. V případech rozsáhlých systémů by to byla jistě přínosná pomůcka. Tento software by bylo možné využít samozřejmě i pro jiné obory znalecké činnosti, např. automobilové nehody apod.

## **6 Závěr**

Logické matice jsou součástí systémově analytického přístupu znalce k řešení problematice zejména v případech, kdy odhalení hlavní příčiny vady nebo poruchy obecně jakékoliv stavební konstrukce může být velice složité. Logické matice vedou k eliminaci subjektivních názorů znalce a jako takové mohou být považovány za objektivní nástroj ke zkoumání příčin vad a poruch.

Na konkrétním příkladu bylo ukázáno, že k hlavní příčině mohou existovat vedlejší příčiny, které se mohou výrazně podílet na zkoumané poruše. Některé příčiny, které se jeví jako nepodstatné, např. extrémní klimatické podmínky se mohou nakonec ukázat jako velice podstatné.

Potenciál použití logických matic spočívá zejména ve skutečnosti, že jsou použitelné na téměř jakékoliv stavební konstrukce a také v tom, že se jedná o dynamickou strukturu, kterou lze rozšiřovat o další příčiny a prameny zkoumání. Ve spojení se software, který by dovedl logické matice zpracovávat bychom dostali velice mocný a silný nástroj pro výkon znalecké činnosti. Takový software, alespoň pokud je mi známo neexistuje. Jsem přesvědčen, že v blízké budoucnosti budu moci prototyp takového software představit znalecké veřejnosti.

## **7 Literatura**

- [1] BRADÁČ, Albert a kol.: *Soudní inženýrství*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, Červen 1997 Brno, 725 s. ISBN: 80-7204-057-X.
- [2] OLŠÁK, Petr: *Lineární algebra*. ČVUT v Praze, Praha, 2007, 121 s. Dostupné z: <ftp://math.feld.cvut.cz/pub/olsak/linal/>
- [3] GATTERMAYEROVÁ, Hana; KARAS, Jiří. *Kotvení kontaktních zateplovacích systémů panelových budov na zatížení větrem*. Tepelná ochrana budov, 2011, roč. 14, č. 3, s. 9. Praha : CZB ČR, o.s., ČKAIT. 2011. 28 s.
- [4] LORENZ, Karel; HOLICKÝ, Milan; MARKOVÁ, Jana; JURANKA Tomáš. *Nosné konstrukce I*. Praha : ČVUT. 2005. 216 s. ISBN 80-01-03168-3.

**ČSN EN 1991-1-4 ZATÍŽENÍ VĚTREM. PRAHA : VYDAVATELSTVÍ ÚNM. 2007. 124 S.**